

В.П. Маршуба, канд. тех. наук,  
В.И. Дрожжин, док. тех. наук, Харьков, Украина

## ОБРАБОТКА ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

In the given article the basic criteria, concepts, definitions and terms describing process of deep holes' handling in various materials, are collected together by the author and represented. All of them were created and scientifically proved by the various authors, including the author of this article, on the basis of the carried out investigations on this theme.

**Введение.** Выполненные в настоящее время работы отечественных и зарубежных авторов по исследованию процесса обработки глубоких отверстий в большинстве своем решают только частные задачи технологического характера, и не раскрывают сути формулировок основных процессов, используемых в данной области машиностроения. Особенно это характерно для зарубежных источников, которые по соображениям сохранения коммерческой тайны, приводят лишь отрывочные данные по влиянию геометрических параметров и конструктивных элементов режущих инструментов на силу резания и их стойкость. Кроме этого многие работы изданы относительно давно и не учитывают сегодняшних тенденций и наработок в данной области, к тому же в них использованы устаревшие понятия и определения, не отвечающие современным требованиям. По многим видам обработки глубоких отверстий такие понятия и определения отсутствуют по причине их сходства с обработкой неглубоких отверстий (до 3d), хотя установлено, что в двух внешне схожих видах обработки отверстий существуют значительные отличия, которые подтверждаются разными авторами.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В настоящее время среди существующих видов механической обработки поверхностей, обработка глубоких отверстий является наиболее сложной и трудоемкой технологической операцией, как по условиям обработки, так и по основному машинному времени, необходимому для ее выполнения. Неблагоприятные условия образования стружки, трудность её удаления из канала отверстия, малая жесткость конструкции применяемого режущего инструмента, невозможность наблюдения за инструментом во время его работы. Все это делает операцию обработки глубоких отверстий чрезвычайно трудоемкой и создает большие затруднения при обеспечении требуемой производительности и снижения себестоимости деталей с такой группой отверстий. Этими обстоятельствами объясняется тот факт, что вопросу изучения процесса обработки глубоких отверстий в настоящее время придается большое значение. Проведенные за

последнее время некоторыми заводскими лабораториями и научно-исследовательскими институтами работы по исследованию процесса обработки глубоких отверстий, дали свои положительные результаты, и значительно повысили производительность этой операции. Однако при решении этих задач, мало внимания уделялось теоретической стороне этого вопроса, особенно это касается определений и терминов, используемых для обоснования процессов взаимодействия физических явлений протекающих при срезе и транспортировке стружки. Зачастую различные авторы один и тот же процесс описывали разными формулировками, исходя из собственных исследований и требований, существующих на то время. Так, например: критерий, по которому определяется понятие «глубокое отверстие» в работах [1, 3, 5 - 10] относят к отверстиям с глубиной более 5d, тогда как в других работах [4, 11 - 16] этот критерий применяют для глубин более 3d, разброс значений критерия составляет 60%, что не допустимо с научной точки зрения. В работе [16] автор обосновал выбор критерия в этом вопросе как - 3d.

В существующих ГОСТах приведено определение «обработка отверстий», но оно не совсем удовлетворяет понятию «обработка глубоких отверстий», поэтому было предложено новое понятие, созданное на базе общепринятого с добавлением необходимых параметров, служащих характеристикой процесса обработки глубоких отверстий и не присущих обработке неглубоких отверстий.

За основу создания списка критериев, понятий, определений и терминов автор использовал данные различных источников, полагаясь только на научно доказанные либо подтвержденные несколькими авторами. Кроме этого многие понятия автор сам разработал и подтвердил общепринятыми методами исследований процессов взаимодействия физических явлений при обработке глубоких отверстий.

**Цель исследований** – установить научно-обоснованные понятия, определения и критерии по технологическим процессам обработки глубоких отверстий в различных материалах и физическим явлениям, сопутствующим процессу обработки. На основе существующих понятий и терминов по проблемам механической обработки различных поверхностей разработать необходимые определения применительно к специфике обработки глубоких отверстий.

### Изложение основного материала.

Разработка основных понятий и определений, связанных с обработкой глубоких отверстий и сбор их в одной статье преследует цель сделать более доступными общепринятые и вновь разработанные взгляды на данную

проблему свести в общую систему, которая подчинялась существующим мнениям в настоящее время.

### Понятия и определение глубокого отверстия

Наиболее распространённое в настоящее время определение глубокого отверстия, базируется на условном разграничении области глубоких и «неглубоких» отверстий. Это разграничение определяется соотношением длины отверстия  $L$  к его диаметру  $d$  и определяется для глубоких отверстий коэффициентом более трех ( $L/d \geq 3$ ).

Здесь и ниже под понятиями "глубокое отверстие" (ГО) и "глубокое сверление" принимается предлагаемая автором формулировка:

**"Глубокое отверстие"** – это отверстие, за критерий глубины которого принято отношение глубины обработки к его диаметру, то есть отверстие с длиной канала удовлетворяющее отношению  $L/d \geq 3$ , где  $L$  – длина канала (глубина) отверстия,  $d$  – диаметр отверстия.

Формулировка понятия "глубокое отверстие" предложенные автором [16]

**"Глубокое сверление"** – образование снятием стружки отверстия в сплошном материале при помощи режущего инструмента, с частыми выводами для охлаждения и удаления стружки из канала отверстия, или без вывода инструмента.

Формулировка понятия "глубокое сверление" предложенные автором [16] подтверждается данными различных источников [1, 3, 4 - 9 и др.].

Применение большого количества разновидностей режущих инструментов требует применения различных видов обработки, методов и кинематических схем получения глубоких отверстий. В зависимости от точности изготовления, качества обработанной поверхности, геометрических параметров (диаметр и глубина отверстия) различают следующее: **виды обработки глубоких отверстий** (сверление, рассверливание, зенкерование, черновое, чистовое, комбинированное или тонкое растачивание, черновое и чистовое протягивание, черновое и чистовое развертывание, размерное и отделочное хонингование, суперфиниширование, полирование, чистовая обработка пластическим деформированием); **методы обработки глубоких отверстий** (сплошного и кольцевого сверления, метод последовательного сверления, метод деления толщины и ширины среза, одно- и многостороннего резания, метод «ВТА», эжекторный метод, метод вибрационного или адаптивного управления процессом резания, растачивание на сжатие и растяжение, метод поверхностного пластического деформирования (ППД)); **кинематические схемы обработки глубоких отверстий** (изделие имеет вращательное движение, а режущий инструмент – поступательное движение; изделие одновременно имеет вращательное и поступательное движение, а режущий инструмент – неподвижен; изделие имеет вращательное движение, а режущий

инструмент – одновременно имеет поступательное и вращательное движение (однонаправленное или разнонаправленное); изделие неподвижно, а режущий инструмент – одновременно имеет поступательное и вращательное движение (для обработки корпусных деталей); обработка отверстий осуществляется одновременно с двух сторон одной из первых четырех кинематических схем).

### Виды обработки глубоких отверстий

**Сверление** [1, 2, 3, 5, 6, 9, 10, 16] – образование снятием стружки канала отверстия в сплошном материале при помощи режущего инструмента - сверла, при этом совершаются следующие виды движений: главное вращательное движение (движение резания) и поступательное (вспомогательное) относительно оси режущего инструмента (движение подачи).

**Рассверливание** [1, 2, 3, 5, 6, 9, 10] – разновидность формообразующей механической обработки отверстий сверлением, только не нового канала отверстия, а уже предварительного просверленного, отлитого или полученного другим способом отверстия в заготовке, при помощи режущего инструмента - сверла.

**Зенкерование** [2, 3, 10] – это обработка предварительно подготовленного отверстия (отлитого, штампованного, просверленного или полученного другим способом) в заготовке, с целью придания ему цилиндрической формы (формообразования контура отверстия), исправления увода оси отверстия, достижения большей точности и чистоты поверхности, при помощи металлорежущего многолезвийного инструмента – зенкера.

**Растачивание (черновое, чистовое, комбинированное и тонкое)** [3, 5, 6, 9, 10] – обработка резцами предварительно полученных отверстий, с целью получения отверстий заданного диаметра, формообразования контура отверстия и обеспечения совпадения оси отверстия с осью вращения изделия или инструмента.

В зависимости от назначения операция растачивания бывает пяти видов: черновая, получистовая, чистовая, комбинированная и тонкая; от выполняемой кинематической схемы: на сжатие и на растяжение; по виду обработки отверстия: сквозное и глухое.

К **черновому или получистовому растачиванию** [3, 5, 6, 9] следует относить такие технологические операции, которые предназначены для исправления оси просверленного отверстия и удаления большей части припуска материала.

К **чистовому растачиванию** [3, 5, 6, 9] относят операции, которые обеспечивают получение правильной геометрической формы, заданной

точности диаметральных размеров и требуемой шероховатости поверхности отверстия при условии сохранения прямолинейности оси отверстия, полученного после чернового или получистового растачивания.

К **комбинированному растачиванию** [3, 5, 6, 9] относят операции, которые обеспечивают получение правильной геометрической формы, заданной точности диаметральных размеров и требуемой шероховатости поверхности отверстия за один проход с удалением большой толщины припуска. С соответствующей разбивкой толщины припуска между несколькими режущими инструментами (черновыми, получистовыми и чистовыми).

**Тонкое растачивание** [3, 5, 9, 10] (прецизионное точение или алмазная обработка) -предварительно полученной образующей поверхности отверстия после рассверливания, зенкерования, протягивания или чернового растачивания, обеспечивает получение обработанных поверхностей правильной геометрической формы, с точным пространственным расположением осей отверстий и параметрами шероховатости поверхности ( $Ra = 0,63 \dots 0,063$ ) мкм, со снятием припуска от нескольких десятков микронов до сотен микронов ( $0,05 \dots 0,3$  мм) за один проход.

**Протягивание** [6, 10] – технологический процесс формообразования и улучшения обработанной поверхности путем дальнейшей обработки уже готовой поверхности со снятием довольно значительного припуска от нескольких десятков микронов до миллиметров или придание обрабатываемой поверхности сложной формы (винтовой нарезки, шлиц и тд.), металлорежущим инструментом сложной формы – протяжкой.

**Развертывание** [6, 10] – чистовая обработка, предварительно изготовленного отверстия сверлением, рассверливанием, зенкерованием или растачиванием, с точностью 6...11-го качества со снятием небольшого припуска от нескольких микронов до десятков микронов, при помощи металлорежущего многолезвийного инструмента – развертки.

**Хонингование** [5, 6, 10] – это процесс финишной обработки поверхности специальным режущим инструментом – хонем, снабженным мелкозернистыми абразивными брусками, которые раздвигаются в процессе обработки.

Различают два вида хонингования – размерное и отделочное.

**Размерное хонингование** [5, 6] – осуществляют для получения заданной точности размеров и геометрической формы без предъявления особых требований к качеству поверхности.

**Отделочное хонингование** [5, 6] – сохраняет не только ранее полученную степень точности обработки, но и обеспечивает получение нужной шероховатости обработки, повышает точность геометрической формы отверстия.

**Суперфиниширование** [10] – отделочный метод обработки поверхности заготовки абразивными брусками. Для него характерны колебательные (осциллирующие) движения и продольные подачи абразивных брусков,

постоянная сила прижатия бруска к детали и малое давление в зоне обработки.

**Полирование** [6, 10] – вид окончательной обработки (отделки) поверхности материалов с целью придания высокой чистоты обрабатываемой поверхности, т.е. получения зеркального блеска поверхности при относительной низкой точности размеров.

**Доводка или притирка** [10] - вид окончательной обработки поверхности деталей, работающих в паре с целью получения точных размеров, высокой чистоты обрабатываемой поверхности или герметичности соединений.

**Чистовая обработка пластическим деформированием** [3, 10] – отделочно-упрочняющая обработка поверхности отверстий путем пластического деформирования поверхностного слоя материала, сопровождающаяся сглаживанием микронеровностей или нанесения регулярного микрорельефа (рисунка) с целью достижения высокой точности, снижения шероховатости и улучшения механических свойств поверхностного слоя.

Существует несколько видов чистовой обработки пластическим деформированием: выглаживание, дорнование, раскатывание и динамический наклеп.

**Выглаживание** [3] – отделочно-упрочняющая обработка поверхности отверстий путем пластического деформирования скользящим по ней инструментом - выглаживателем (твердосплавным индентором, алмазным кристаллом и др.).

**Дорнование** [3, 10] – отделочно-упрочняющая обработка поверхности отверстий путем продавливания с некоторым натягом инструмента (дорна), или шарика через предварительно обработанное отверстие с целью калибрования, упрочнения и уменьшения шероховатости поверхности отверстий.

**Раскатывание** [3], – отделочно-упрочняющая обработка поверхности отверстий путем прижатия с некоторым усилием инструмента (ролика или шарика) к обрабатываемой поверхности с целью увеличения диаметра и получения правильной формы отверстия, а также создания регулярного микрорельефа.

**Динамический наклеп** [3] - отделочно-упрочняющая обработка поверхности отверстий путем нанесения небольших ударов, с некоторым усилием ударным инструментом (алмазным наконечником, роликами или шариками) по обрабатываемой поверхности с целью динамического наклепа поверхностного слоя детали и создания регулярного микрорельефа.

Динамический наклеп носит еще название – виброраскатывания импульсного действия.

## Методы обработки глубоких отверстий

**Метод сплошного сверления** [1, 2, 3, 5, 6, 9] предусматривает получение отверстия посредством превращения в стружку всего материала, подлежащего удалению по глубине сверления для образования заданного типоразмера отверстия.

**Метод кольцевого сверления** [1, 2, 3, 5, 6, 9] предусматривает получение отверстия посредством превращения в стружку не всего материала, подлежащего удалению по глубине отверстия, а только путем высверливания в детали кольцевой канавки с образованием стержня диаметром  $d_c$  в центральной части.

**Метод последовательного сверления** [10, 16] применяется преимущественно на агрегатных станках и автоматических линиях для обработки отверстий невысокой точности (каналов гидроаппаратуры, крепления и тд.) с целью снижения величины основного машинного времени и распределения обработки канала отверстия между несколькими позициями этого оборудования.

**Метод деления толщины и ширины среза** [1, 3 - 6, 9] – этот метод основан на распределении ширины и толщины среза между отдельными лезвиями многолезвийных инструментов. В настоящее время различают следующие виды конструкций многолезвийных режущих инструментов в зависимости от используемого метода: с делением ширины среза; с делением толщины среза; с делением ширины и толщины среза. Кроме описанных выше инструментов существуют их разновидности: с неравномерным делением припуска между лезвиями; с равномерным делением припуска между лезвиями.

**Режущий инструмент с делением ширины среза** [1, 2 - 6, 9] – многолезвийный инструмент, режущие лезвия которого расположены таким образом, что каждое отдельное лезвие срезает лишь часть общей ширины среза (припуска), удаляемой за один оборот вокруг своей оси, при этом ширина срезаемой отдельными лезвиями стружки может быть одинаковой или различной.

**Режущий инструмент с делением толщины среза** [1, 2 - 6, 9] – многолезвийный инструмент, режущие лезвия которого расположены таким образом, что каждое отдельное лезвие срезает по всей ширине среза (глубине резания, но общая толщина среза, срезаемого за один оборот, делится, как правило, равномерно между всеми режущими лезвиями.

**Режущий инструмент с делением ширины и толщины среза** [4 - 6, 9] – многолезвийный инструмент, в котором все лезвия разбиты на группы. В пределах каждой группы лезвия работают по принципу деления толщины среза, а между группами имеет место деление ширины среза. Существуют конструкции режущего инструмента, в которых каждая группа лезвий работает по принципу деления ширины среза, а между группами имеет место деление

толщины среза.

**Режущий инструмент с неравномерным делением припуска между лезвиями** [4 - 6, 9] – многолезвийный инструмент, в котором требуемое распределение толщины среза между лезвиями может быть достигнуто двумя путями: за счет соответствующего углового расположения лезвий и за счет осевого смещения лезвий. В первом случае, толщина среза между лезвиями, следующими друг за другом, распределяется пропорционально угловому шагу между ними. Во втором – при равномерном расположении лезвий по окружности толщина среза распределяется между лезвиями пропорционально за счет разницы их вылета.

**Режущий инструмент с равномерным делением припуска между лезвиями** [5, 6, 9] – многолезвийный инструмент, в котором распределение толщины среза между всеми лезвиями происходит равномерно.

**Метод одностороннего резания** [2, 3, 5, 6, 9] – предназначен для сверления отверстий сверлами, имеющими одну режущую кромку (почему и получили такое название) с подачей смазывающе-охлаждающей технологической среды (СОТС) через сверлильный шпиндель и отверстие в стебле режущего инструмента. Выход СОТС при вершине режущей части. Отвод СОТС вместе со снятой стружкой по стружечной канавке на боковой поверхности стебля режущего инструмента.

**Метод многостороннего резания** [2, 3, 5, 6, 9] – предназначен для сверления отверстий сверлами, имеющими много режущих кромок (почему и получил такое название) с подачей СОТС через сверлильный шпиндель и отверстие в стебле режущего инструмента или наружным поливом. Среди подвидов этого метода особое положение занимает метод «ВТА», как наиболее характерный для обработки глубоких отверстий.

**Метод «ВТА»** [5, 9, 15] (разработан ассоциацией Boring and Trepanning Association) – предназначен для сверления отверстий сверлами, имеющими много режущих кромок и с подводом СОТС специальным устройством с задней стороны кондукторной втулки. Смазывающе-охлаждающая технологическая среда через кондукторную втулку подается к режущим кромкам в пространстве между стенкой отверстия и наружным диаметром стебля. Вместе со стружкой СОТС отводится по отверстию стебля, а далее через сверлильный шпиндель. На конце шпинделя СОТС совместно с фрагментами стружки выходит наружу и попадает в стружкоприемник.

**Метод эжекторного сверления** [3, 5, 9, 15] – предназначен для сверления отверстий сверлами, имеющими много режущих кромок и с подводом СОТС осуществляемой у переднего конца сверлильного шпинделя. Смазывающе-охлаждающая технологическая среда подается к режущей части инструмента в пространстве между двумя стеблями (длинными трубками) сверла. Вместе со стружкой смазывающе-охлаждающая технологическая среда отводится по внутренней трубке. В эту трубку

дополнительно подводится СОТС для ускорения отвода стружки, т.е. происходит дополнительное разрежение в канале стебля за счет совпадения потоков жидкости, в результате этого увеличивается скорость отвода. На заднем конце сверлильного шпинделя СОТС и стружка выходят наружу и попадают в стружкоприемник.

**Методы вибрационного управления процессом резания** [6, 9] применяется для обеспечения процесса обработки глубоких отверстий путем наложения на линейное перемещение режущего инструмента осциллирующего движения, позволяющего изменять величину подачи от минимума до максимума в очень короткий промежуток времени, что разрушает непрерывный поток стружки на отдельные элементы и облегчает её удаление из зоны резания.

**Методы адаптивного управления процессом резания** [7] применяется для обеспечения процесса обработки глубоких отверстий путем разбивки всей глубины сверления на отдельные участки по времени, либо быстрым отводом режущего инструмента из зоны резания по достижении предельного значения силы резания.

В зависимости от исполнения механизма адаптивного управления процессом резания различают следующие их виды: ступенчатой подачи, контроль по крутящему моменту или отрезку времени.

**Механизм ступенчатой подачи** [7] предназначен для принудительного вывода из канала отверстия режущего инструмента для охлаждения и удаления фрагментов стружки при достижении определенной глубины отверстия.

**Механизм контроля по крутящему моменту** [7] предназначен для принудительного вывода из канала отверстия режущего инструмента для охлаждения и удаления фрагментов стружки при достижении определенной величины крутящего момента.

**Механизм контроля по отрезку времени** [7] предназначен для принудительного вывода из канала отверстия режущего инструмента для охлаждения и удаления фрагментов стружки при достижении определенного отрезка времени.

**Методы растачивания на сжатие** [6, 9, 10, 15] применяется для обработки отверстий путем перемещения режущего инструмента совместно с оправкой попутно с подачей, причем усилие резания стремится сжать оправку.

**Методы растачивания на растяжение** [6, 9, 10, 15] применяется для обработки отверстий путем перемещения режущего инструмента совместно с оправкой попутно с подачей, причем усилие резания стремится растянуть оправку.

**Метод поверхностного пластического деформирования (ППД)** [3, 10]-пластическое деформирование поверхностного слоя материала, сопровождающейся сглаживанием микронеровностей или нанесением регулярного микрорельефа (рисунка) на поверхность отверстия.

**Выводы.** Следовательно, следуя вновь разработанным определениям и терминам, возможна классификация и унификация различных видов, методов и кинематических схем обработки глубоких отверстий. Отпадает необходимость в разнонаправленном развитии режущих инструментов и оборудования для обработки глубоких отверстий. Возникает возможность сосредоточить создание и применение новых высокопроизводительных инструментальных материалов и режущих инструментов, совершенствование геометрии уже существующего инструмента, сосредоточить в очень узком направлении. Это скажется на значительном повышении экономической эффективности специальных методов обработки глубоких отверстий и позволит снизить расходы по разработке принципиально новых конструкций режущего инструмента и оборудования.

**Список литературы:** 1. *Вемейчук Н.С.* Сплошное сверление глубоких отверстий. – М.: Оборонгиз, 1940. – 150 с. 2. *Еремеева Н.М.* и др. Сверла. / Под ред. М.Т. Галея. – М.: Машгиз, 1954. – 104 с. 3. *Лактиев С.Г.* Обработка отверстий. – М.: Машиностроение, 1984. – 206 с. 4. *Маслов А.Р.* и др. Прогрессивный инструмент для обработки отверстий. – М.: ВНИИТЭРМ, 1990. – №4, – С. 56. 5. *Минков М.А.* Технология изготовления глубоких точных отверстий. – М.: Машиностроение, 1965. – 175 с. 6. *Потягайло М.В.* Изготовление глубоких и точных отверстий. – М.-Л.: Машгиз, 1947.-108 с. 7. *Тимеязев М.Н.* Обработка глубоких отверстий. Учебное пособие. – М.: Машиностроение, 1980. – 43 с. 8. *Троицкий Н.Д.* Глубокое сверление. – Л.: Машиностроение, 1971. – 174 с. 9. *Уткин Н.Ф.* и др. Обработка глубоких отверстий. – Л.: Машиностроение, 1988. – 268 с. 10. *Справочник* технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.1/Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – 4-е изд., пере раб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. 656 с. 11. *Синельников А.К., Филиппов Г.В.* Производительная обработка отверстий длиной 3-7d спиральными сверлами. // Междунар. науч.-техн. сборник. "Современная обработка металлов резанием." – М.: – 1973, – С. 3–7. 12. *Глубокое сверление.* // Fachber: Huttenprax Metall Weiterverarb. – 1978. – №6. 40. – Р. 464-469. (нем.). 13. *Глубокое сверление* с внешним подводом и внутренним отводом СОЖ. // Maschinenbau. - 1979. - №2, 8. - Р. 45. (нем.). 14. *Глубокое сверление* как высокопроизводительный процесс для обработки коротких отверстий. // Schweiz Maschinenmarkt. - 1980. - №34, 80. - Р. 22-26. (нем.). 15. *Каталоги и проспекты* фирм производителей режущего инструмента: Gotlieb Guhring; Spiralbohrer-und Maschinfabrik; Flbstadt; DSW-Deutsche Spiralbohrer-und Werkzeugfabrik, Frankfurt (M.P.); Stock AG. W. Berlin. (нем.). 16. *Маришуба В.П.* Повышение эффективности глубокого безвыводного сверления литейных алюминия стандартными сверлами на агрегатных станках. Дис... канд. техн. наук: 05.03.01. – Харьков, 2001. – 217 с.

*Поступила в редколлегию 25.04.2004 г.*